8Л

УДК 57.007; 004.8.032.26

А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин
Полтавский национальный технический университет имени Ю. Кондратюка,
г. Полтава, Украина
aleshsp@ukr.net

Нейросетевая одорологическая экспертиза как объективный способ таможенного контроля

Предложена методика комбинированного использования биосенсорных способностей служебных собак и обученных нейронных сетей для распознавания опасных объектов при таможенном контроле грузовых и багажных терминалов. В основе подхода лежит идея синхронного обучения служебных собак и искусственных нейронных сетей, что позволяет использовать животных как биосенсоры, а нейронные сети как инструмент принятия решений. Это позволит повысить объективность и надежность экспертизы при доступных материальных и финансовых затратах. Приведена методика построения моделей распознавания и модель принятия решений идентификации объектов в нейронной среде стандартных эмуляторов формата Statistika Neural Network.

Введение

Современные процедуры таможенного контроля и выявления социально опасных объектов (наркотики, взрывчатка) базируются на технических (видеокамеры, рентген, металлоискатели и др.) и биодетекторных (служебные собаки) способах мониторинга [1, с. 466]. Для выявления некоторых объектов (например, пластид) широко применяется способ с использованием специально обученных собак [2]. Технические средства при этом либо малоэффективны, либо относительно дороги [3], что сдерживает их широкое внедрение на практике. Поэтому в настоящее время (трудности с финансированием, информационно-техническим обеспечением) по соотношению «эффективность – стоимость» наиболее распространен способ использования обученных собак в качестве биосенсоров при выявлении опасных объектов. При этом по результатам анализа деятельности соответствующих служб отмечается, что существенной слабостью данного способа является человеческий фактор, когда из-за невнимательности или с умыслом в ряде случаев выявления не были зафиксированы [4]. С одной стороны, очевидны высокие природные способности обученных собак, с другой – субъективные причины снижения эффективности их использования из-за субъективизма человеческого фактора. В условиях относительно высокой дороговизны технических средств преодолеть отмеченный недостаток биосенсорного способа таможенного контроля за счет недорогих, но достаточно эффективных подходов представляется достаточно актуальным. Поэтому разработка предлагаемого комбинированного способа подготовки собак с синхронным обучением нейронной сети представляется актуальной научной и практической задачей. На практике это необходимо для технического оснащения ситуационных центров мониторинга морских, железнодорожных, авиационных, автомобильных и др. грузовых терминалов.

Анализ последних исследований и публикаций

Объектом криминалистической одорологии служат аналитические процессы в запаховых средах как носителях информации о социально опасных деяниях и объектах, а её предметом принято считать систему закономерностей возникновения, сбора, со-

хранения, исследования и использования запаховых следов в целях предупреждения и раскрытия преступлений [5]. Созданием способов и средств, способных обнаруживать в багаже и грузовых отправлениях взрывчатые вещества и наркотики, занимаются ученые и инженеры. Например, разработана и функционирует автоматизированная система распознавания, принцип действия которой заключается в придании материалам различных цветов от оранжевого для элементов с низкими атомными числами до зеленого и система распознает материалы, близкие по атомному числу к наркотикам или взрывчатым веществам [6]. Достаточно большой точностью и селективностью анализа обладает газовый анализатор типа «Шельф-ДС». Принцип его действия основан на непрерывной регистрации спектров нелинейной ионной подвижности микропримесей веществ в воздухе. Конструкция дрейф-камеры прибора и применяемые алгоритмы обработки сигнала позволили обеспечить высокую избирательность и помехоустойчивость при анализе на наличие в пробе воздуха паров взрывчатых веществ на фоне естественного загрязнения атмосферы. Помимо аппаратов, основанных на методах масс-спектрометрии и газовой хроматографии, в последнее время за рубежом нашли широкое применение приборы, в работе которых используется метод подвижных ионов. Это детекторы паров взрывчатых веществ GVD 6 и PD 5, детектор пластиковых взрывчатых веществ и тринитротолуола «Plastic». Селективность и чувствительность большинства известных сенсоров недостаточна для анализа сложных по составу газовых смесей и для прямых измерений содержания многих компонентов [7]. Перспективный путь развития сенсорной техники – применение мультисенсорных систем на основе неселективных материалов и методов обработки данных, полученных от таких сенсорных систем на базе современных достижений в распознавании образов. К таким системам относится «Электронный нос» – аналитическое устройство, сочетающее в себе массив неселективных сенсоров, обладающих высокой перекрестной чувствительностью и способностью к распознаванию образов, и многомерную калибровку для обработки данных от такого массива [3], [8]. Принцип работы системы основан на измерении электропроводности набора химических сенсоров при их взаимодействии с парами летучих веществ. Математическая обработка данных сенсорного массива позволяет сформировать химический образ анализируемого вещества. Следует отметить, что эти разработки еще не получили массового применения по трем причинам: высокая стоимость, недостаточная селективность, сложность технологии сенсоров.

Пока же наиболее доступен относительно дешевый, экономичный, достаточно неприхотливый, один из самых эффективных, надежных и универсальных анализаторов запаха – природное обоняние специально обученных собак (биодетекторов, биосенсоров). Перспективным представляется комбинированное применение обучения собак и синхронное с ним обучение искусственных нейронных сетей с целью создания полуавтоматических систем распознавания по запаху различных социально опасных объектов.

Целью данной работы является построение нейросетевой модели принятия решений об обнаружении соответствующего объекта путем анализа поведения обученного животного при помощи видеокамеры. Ошибки первого и второго рода (пропуск объекта и ложная тревога) должны быть не выше заданных. В качестве инструмента моделирования выбран нейроэмулятор среды StatSoft.

Постановка задачи и методы исследования

Имеется некоторый социально опасный объект, например, пластид. Этот объект могут обнаруживать по запаху собаки, подготовка которых осуществляется обучением в виде многократного предъявления соответствующих объектов по определен-

ной методике [4]. Необходимо построить нейросетевую модель принятия решения об обнаружении соответствующего объекта путем анализа поведения обученного животного при помощи видеокамеры. Ошибки первого и второго рода (пропуск объекта и ложная тревога) должны быть не выше заданных.

С точки зрения формализации процесса распознавания объекта необходимо построить отображение входного вектора данных (значения пикселей изображения собаки в одном или нескольких кадрах) на результат экспертизы, аппроксимирующее зависимость «поведение – вывод». В общем случае признаки поведения и число классов объектов являются векторными величинами:

$$|\,y\,| = F\,|\,x^m\,|,$$

где y – номер класса объекта; x – значение текущего признака; m – число признаков. В нашей задаче число классов равно двум (0 – нет объекта; 1 – есть объект). Число признаков равно числу сегментов изображения объекта с достаточным для анализа количеством активных пикселей. Рассматривается класс видеоизображений, которые характеризуются интенсивностью и периодичностью свечения отдельных групп пикселей. Это связано с особенностями методики обучения служебных собак [4], в основу которой положено обучение животного таким образом, чтобы при обнаружении искомого объекта собака сигнализировала строго определенными признаками своего поведения (сесть на задние лапы, лаять и т.п.). Очевидно, что это поведение отразится на интенсивности и последовательности свечения конкретных групп пикселей видеоизображения, которые, в свою очередь, определяются двоичным числом для соответствующего элемента растровой развертки. Таким образом, анализ поведения биосенсора для различных условий его обучения в контексте нейронной сети сводится к анализу последовательности групп чисел и отнесению этих последовательностей к одному из двух классов. В основу классификации предлагается положить использование обучаемой искусственной нейронной сети с обратным распространением ошибки как инструмента автоматического распознавания ситуации (наличие или отсутствие искомого объекта) по видеоизображениям. Следовательно, поиск отображения

$$F:\ X \to Y, X \subset \Re^m, Y \subset \Re^k,$$

где k и m соответственно размерность состояний (алфавит классов) и размерность факторов (объем словаря признаков), чтобы по известным значениям вектора входных факторов $\vec{X} = (x_{1,\dots,}\, x_m) \in X$ оценить значения выходного вектора $\vec{Y} = (y_{1,\dots,} y_k) \in Y$. Оператор F включает в себя все процедуры преобразований пространства $\vec{X} = (x_{1,\dots,}\, x_m) \in X$ в пространство $\vec{Y} = (y_{1,\dots,}\, y_k) \in Y$, в нейросетевом формате сводится к модификации синаптических коэффициентов сети [10].

Построение нейросетевого классификатора и анализ результатов

В задачах классификации использование стандартного нейроконструктора упрощает формирование и обучение сети [9], [10]. Воспользуемся модулем Neural Networks пакета технического анализа STATISTICA. При этом алгоритм классификации сводится к следующим действиям:

1. Из обучающей выборки берется первый текущий пример и его входные параметры (представляющие в совокупности вектор входных сигналов) подаются на входные синапсы обучаемой нейросети.

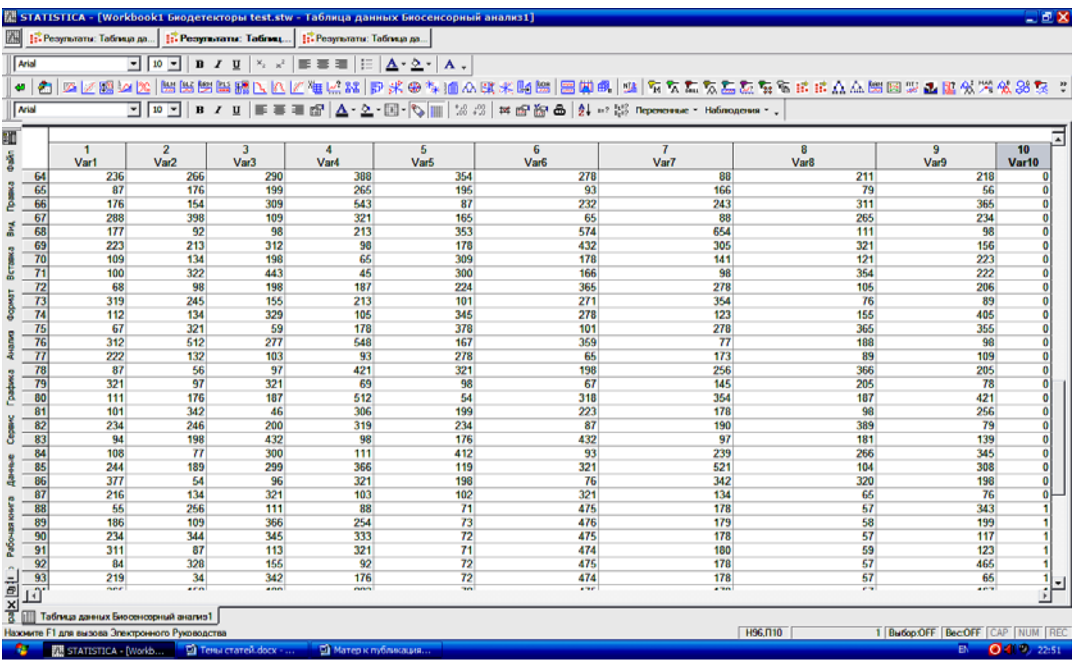
2. Нейросеть производит заданное количество тактов функционирования, при этом вектор входных сигналов распространяется по связям между нейронами.

3. Измеряются сигналы, выданные теми нейронами, которые считаются выходными.

4. Производится интерпретация выданных сигналов, и вычисляется оценка, характеризующая различие между выданным сетью ответом и требуемым ответом, имеющимся в примере.

5. Если оценка примера равна нулю, ничего не предпринимается. В противном случае на основании оценки вычисляются поправочные коэффициенты для каждого синаптического веса матрицы связей, после чего производится подстройка синаптических весов (обратное функционирование).

6. Осуществляется переход к следующему примеру и вышеперечисленные операции повторяются. Носителем информации для нейронной сети используется цифровая растровая последовательность изображения кадра (320 × 240 пикселей). При этом входом нейронной сети является вектор фиксированной размерности, равной числу групп пикселей видеоизображения служебной собаки в пределах выбранного сектора обзора. Компонентами вектора являются суммарные интенсивности свечения сегментов видеоизображения, выраженные двоичными числами соответствующей разрядности, согласно техническим данным видеокамеры. Это зафиксированный образ текущего состояния биосенсора на языке признаков растровой развертки, который необходимо отнести к одному из двух заданных классов и оценить степень риска принятого решения. Цель обучения заключается в том, чтобы за конечное число тактов каждому входному образцу из обучающей выборки нейронная сеть ставила в соответствие выход, представленный ей на этапе обучения. Истинность соответствия образов и их принадлежности к классам обеспечивается выбранной методикой обучения служебной собаки, а количество закладок искомого объекта точно соответствует числу реализаций первого класса (есть объект) в обучающей выборке. Вид фрагмента обучающей выборки представлен на вкладке 1 (рис. 1).



	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4	5 Var5	6 Var6	7 Var7	8 Var8	9 Var9	10 Var10
64	236	266	290	388	354	278	88	211	218	0
65	87	176	199	265	195	93	166	79	56	0
66	176	154	309	543	87	232	243	311	365	0
67	288	398	109	321	165	65	88	265	234	0
68	177	92	98	213	353	574	654	111	98	0
69	223	213	312	98	178	432	305	321	156	0
70	109	134	198	65	309	178	141	121	223	0
71	100	322	443	45	300	166	98	354	222	0
72	68	98	198	187	224	365	278	105	206	0
73	319	245	155	213	101	271	354	76	89	0
74	112	134	329	105	345	278	123	155	405	0
75	67	321	59	178	378	101	278	365	355	0
76	312	512	277	548	167	359	77	188	98	0
77	222	132	103	93	278	65	173	89	109	0
78	87	56	97	421	321	198	256	366	205	0
79	321	97	321	69	98	67	145	205	78	0
80	111	176	187	512	54	318	354	187	421	0
81	101	342	46	306	199	223	178	98	256	0
82	234	246	200	319	234	87	190	389	79	0
83	94	198	432	98	176	432	97	181	139	0
84	108	77	300	111	412	93	239	266	345	0
85	244	189	299	366	119	321	521	104	308	0
86	377	54	96	321	198	76	342	320	198	0
87	216	134	321	103	102	321	134	65	76	0
88	55	256	111	88	71	475	178	57	343	1
89	186	109	366	254	73	476	179	58	199	1
90	234	344	345	333	72	475	178	57	117	1
91	311	87	113	321	71	474	180	59	123	1
92	84	328	155	92	72	475	178	57	465	1
93	219	34	342	176	72	474	178	57	65	1

Рисунок 1 – Фрагмент обучающей выборки

Проведение экспериментов с различными архитектурами сетей и степенями сложности показало устойчивое решение задачи в среде РБФ – сетей с числом элементов в скрытом слое (10 – 25), что видно на ансамбле из пяти примеров (рис. 2).

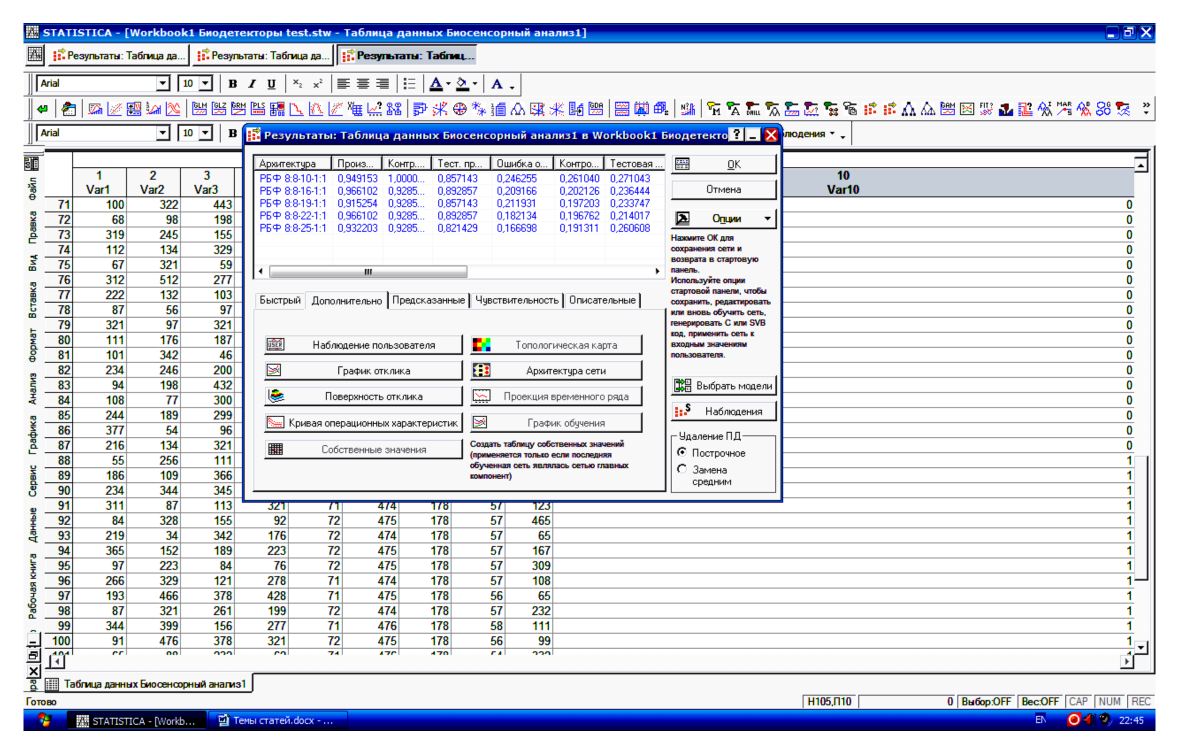


Рисунок 2 – Ансамбль из пяти примеров

Найти приемлемое для практики решение можно путем анализа ошибок первого и второго рода при проведении экспериментов с моделями. Результатом ошибочного решения считается событие, когда объект, принадлежащий к i-му классу, классифицируется как объект k-го класса. В нашем случае могут иметь место ошибки пропуска объекта и ложной тревоги, что формально выражается в предельном случае вероятностью ошибок

$$P \text{ ош.} = P\,(1,0) + P\,(0,1). \qquad (1)$$

Правильные решения в виде обнаружения при наличии искомого объекта и необнаружения при его отсутствии в том же формате выглядят так:

$$P \text{ пр.} = P\,(1,1) + P\,(0,0), \qquad (2)$$

где P (1, 0), P (0, 1), P (1, 1), P (0, 0) – совместные вероятности класса ситуации (есть или нет искомый объект) и апостериорных вероятностей гипотез принадлежности ситуации к данному классу, которые в сумме представляют полную группу возможных событий. Таким образом, задача обеспечения приемлемых ошибок распознавания искомых объектов сводится к нахождению процедуры обеспечения максимального значения P (1, 1) + P (0, 0) либо минимального значения P (1, 0) + P (0, 1)}, что позволит достичь цели – принятия оптимального решения классификации ситуации нейросетевыми моделями. В нашем случае производительность сети является аналогом вероятности правильного решения при бесконечно большой выборке, так как представлена отношением правильно опознанных примеров к их общему числу. Ошибка обучения отображает совокупную вероятность пропуска объекта и ложной тревоги как отношение ошибочных решений к общему числу

всех решений при тех же условиях. Следовательно, нейросетевая одорологическая экспертиза по приведенной методике достаточно эффективна, так как с точки зрения надежности не уступает традиционным методам математической статистики, а практическая реализация не вызывает трудностей, так как базируется на существующих стандартных пакетах эмуляторов нейросреды.

Выводы

1. Нейросетевая одорологическая экспертиза как комбинированный способ обучения служебных собак и искусственных нейронных сетей позволяет обеспечить объективность и надежность принимаемых решений.

2. Научная новизна работы состоит в обосновании применения технологии искусственных нейронных сетей для преобразования пространства рецепторных признаков служебных собак в пространство признаков их поведенческих реакций и распознавании классов объектов с надежностью на уровне традиционных статистических решающих правил.

3. Практическая значимость результатов исследования состоит в использовании природных данных служебных собак для принятия решений без участия эксперта-человека, что обеспечивает объективность экспертизы и позволяет автоматизировать обнаружение социально опасных объектов в грузовых и багажных терминалах при таможенном контроле.

Литература

1. Белкин Р.С. Курс криминалистики / Белкин Р.С. – М., 2001.
2. Гвахария О.Г. Криминалистическая одорология и теория информации / О.Г. Гвахария // Криминалистика и судебная экспертиза. – Киев : РИО МВД УССР, 1972. – Вып. 9. – С. 189-192.
3. Долгополов Н.В. «Электронный нос» – новое направление индустрии безопасности / Н.В. Долгополов, М.Ю. Яблоков // Мир и безопасность. – 2007. – № 4. – С. 54-59.
4. Строгович М.С. О криминалистической одорологии / М.С. Строгович // Вопросы теории и практики. – 1970. – С. 122-129.
5. Крутова В.И. Некоторые аспекты формирования научного представления об обонянии собак / В.И. Крутова // Научный сборник Российской федерации служебного собаководства. – 2000. – № 1. – С. 30-41.
6. Ганшин В.М. Химический наносенсор на свободные высшие жирные кислоты с люминесцентным откликом / В.М. Ганшин, Э.П. Зинкевич // Сенсорные системы. – 2002. – Т. 16, № 14. – С. 336-342.
7. Летучие компоненты выделений поверхности кожи человека / Э.П. Зинкевич, Е.С. Бродский, Т.Ф. Моисеева, Ю.Б. Габель // Сенсорные системы. – 1997. – Т. 11, № 1. – С. 42-52.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / Хайкин С. ; пер. с англ. – [2-е изд.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
9. Состояние и перспективы нейросетевого моделирования СППР в сложных социотехнических системах / А.А. Морозов, В.П. Клименко, А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 127-149.
10. Ляхов А.Л. Искусственная нейронная сеть как измерительный инструмент адекватности модели с адаптивным классом точности / А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин // Математичні машини і системи. – 2010. – № 2. – С. 61-66.

Literatura

1. Belkin R.S. Kurskriminalistiki. M. 2001. 466 s.
2. Gvaharija O.G. Kriminalistikai sudebnajaj ekspertiza. Kiev: RIO MVD USSR. 1972. Vyp. 9. S. 189-192.
3. Dolgopolov N.V. Mir i bezopasnost'. № 4, 2007. s. 54-59.

4. Strogovich M.S. O kriminalisticheskoj odorologii: Voprosyteoriiipraktiki. 1970. S. 122-129.
5. Krutova V.I. Nauchnyj sbornik Rossijskojf ederacii sluzhebnogo sobakovodstva. M. № 1. 2000. S. 30-41.
6. Ganshin V.M. Sensornye sistemy. M.: Nauka. T16. №14. 2002. S. 336-342.
7. ZinkevichJe.P. Sensornye sistemy. M.: Nauka. T 11. № 1. 1997. S. 42-52.
8. Hajkin S. Nejronnye seti: polnyj kurs. M.: Izdatel'skij dom "Vil'jams". 2006. 1104 s.
9. Morozov A.A. Matematychni mashyny i systemy. № 1. 2010. S. 127-149.
10. Ljahov A.L. Matematychni mashyny i systemy. №2. 2010. S. 61-66.

А.Л. Ляхов, С.П. Альошин

Нейромережна одорологічна експертиза як об'єктивний спосіб митного контролю

У статті запропонована методика комбінованого використання біосенсорних здібностей службових собак і навчених нейронних мереж для розпізнавання небезпечних об'єктів при митному контролі вантажних і багажних терміналів. В основі підходу лежить ідея синхронного навчання службових собак і штучних нейронних мереж, що дозволяє використовувати тварин як біосенсори, а нейронні мережі як інструмент прийняття рішень. Це дозволить підвищити об'єктивність та надійність експертизи при доступних матеріальних і фінансових витратах. Наведено методику побудови моделей розпізнавання і модель прийняття рішень ідентифікації об'єктів в нейронному середовищі стандартних емуляторів формату Statistika Neural Network.

A.L. Ljahov*, *S.P. Aljoshin

Neural Network Scent Evidence Analysis as an Objective Method of Customs Control

The paper proposed the method of combined use of biosensor abilities of dogs and trained neural networks to detect dangerous objects at customs control of cargo and baggage terminals. The approach is based on simultaneous training of dogs and artificial neural network, which allows the use of animals like biosensors, and neural networks as a tool for decision-making. This will improve the objectivity and reliability of assessment at the moderate material and financial costs. The technique of constructing models of recognition and decision-making model to identify objects in a neural environment of standard emulators with the format Statistika Neural Network are given.

Статья поступила в редакцию 31.05.2011.